

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-094798  
(43)Date of publication of application : 16.04.1993

(51)Int.Cl.

H01J 37/26  
H01J 37/141

(21)Application number : 03-115740  
(22)Date of filing : 21.05.1991

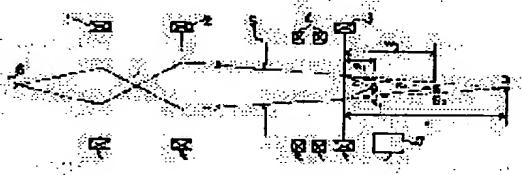
(71)Applicant : JEOL LTD  
(72)Inventor : MATSUTANI MIYUKI

**(54) ELECTRONIC OPTICAL OBSERVATION DEVICE FOR FOCAL DEPTH CHANGEABLE ELECTRON MICROSCOPE, ETC.**

**(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To enable observation almost without image rotation in any mode by a fixed image rotational compensation in a broad range of sample position at the time of mode switchover in the case of an electron microscope, etc., whose focal depth can be changed by mode switchover.

**CONSTITUTION:** The distance b from the imagery position Y of a second convergent lens 2 in the previous mode which obtains high resolving power to an objective 3 and the distance a from the objective 3 in a mode whose focal depth is great to the image formation position Q of the second convergent lens 2 are set large enough in comparison with the distance W2 from the objective 3 to the sample position S2 which is most away from the objective 5. Even in any sample position, an image rotation resulting from mode conversion is made at almost the same angle, and even if image rotation compensation resulting from mode conversion when the sample position is changed is made at the same angle with reference to the operating distance in a broad range, the image rotation due to the conversion is made extremely small.



**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-94798

(43)公開日 平成5年(1993)4月16日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 01 J 37/26  
37/141

識別記号

府内整理番号  
9069-5E  
Z 9069-5E

F I

技術表示箇所

(21)出願番号

特願平3-115740

(22)出願日

平成3年(1991)5月21日

(71)出願人 000004271

日本電子株式会社

東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号

(72)発明者 松谷 幸

東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号日本電子株式会社内

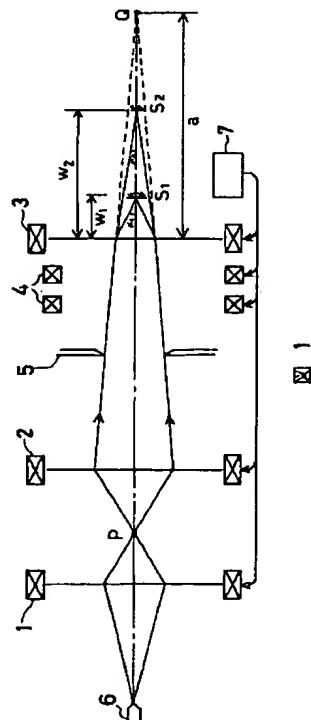
(74)代理人 弁理士 荘澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置

(57)【要約】

【目的】 モード切り換えによって焦点深度を変更することができる電子顕微鏡等において、モード切り換えの際に広い試料位置範囲で一定の像回転補正で何れのモードでも像回転が殆どなしに観察可能にする。

【構成】 高分解能を得る従来モードにおける第2集束レンズ2の結像位置Yから対物レンズ3までの距離b、及び、焦点深度の深いモードにおける対物レンズ3から第2集束レンズ2の結像位置Qまでの距離aを、対物レンズ3から最も離れた試料位置S<sub>2</sub>までの距離w<sub>2</sub>に比較して十分大きく設定して、何れの試料位置においてもモード変換に伴う像回転をほぼ同じ角度にし、試料位置を変えたときのモード変換に伴う像回転補正を広い範囲の作動距離について同じ角度にしても、その変換による像回転を極めて小さくする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子ビームの進行方向に、少なくとも、電子銃、第1集束レンズ、第2集束レンズ、対物絞り、走査コイル、対物レンズが順に配置されてなり、第1集束レンズ、第2集束レンズ、対物レンズの励磁を変更することにより、同一試料位置に対してフォーカスを変更することなく、第2集束レンズによる電子銃の結像位置を対物レンズの電子銃側及び試料側に変更して焦点深度が変わる第1モード及び第2モードに変換可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置において、第1モードにおける第2集束レンズによる電子銃の結像位置から対物レンズ正面位置までの距離、及び、第2モードにおける対物レンズ正面位置から第2集束レンズによる電子銃の結像位置までの距離を、対物レンズ正面位置から最も離れた試料位置までの距離に比較して十分大きく設定することにより、試料位置を変えたときのモード変換に伴う像回転補正を同じ角度にしてもその変換による像回転を著しく小さくしたことを特徴とする焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、電子ビームを試料面に集束して照射することによりその表面形状、物性の違い

$$D_F = \pm (r/M - d_p) / 2 \alpha$$

ここで、 $r$  は人間の目が許容するボケの値（通常、0.2 mm と言われている。）である。したがって、 $d_p \ll r/M$  の場合には、 $M = 100 \times$  では、 $r/M = 2 \times 10^{-3} \text{ mm}$  であるから、 $2\alpha = 1 \sim 2 \times 10^{-2} \text{ rad}$  を代入すると、最大でも  $D_F = \pm 0.1 \sim \pm 0.2 \text{ mm}$  となる。特に、S-E.M.の試料としては、表面の凹凸が  $\pm 0.2 \text{ mm}$  を越えるものは日常的であるから、焦点深度は必ずしも十分なものではなかった。

【0004】 従来のS.E.M.におけるこのような縮小レンズ系（対物レンズ等は、電子銃の像を試料上に縮小して結像するので、このように呼ばれる。）において、あえて焦点深度を深くする方法としては、

- (A) 対物レンズの前段に配置されている対物絞り（図2の5）径を小さくする（例えば、 $\sim 10 \mu\text{m}$ ）。
- (B) 作動距離を大きくする（例えば、 $\sim 50 \text{ mm}$ ）。等が考えられる。

## 【0005】 また、

(C) 任意のプローブ電流  $I_p$  に対してプローブ径  $d_p$  を最小にする制御方式から切り換えて、任意のプローブ電流  $I_p$  と任意の観察倍率  $M$  に対して、常に焦点深度を最大にする（例えば、特開平1-236563号）。のような新しい考え方もある。これは、図5と同様な図6に示すように、プローブ径  $d_p$  が大きくなってしまっても観察倍率  $M$  が小さければ、 $d_p$  は試料S面上の走査線の間隔  $S_r$  よりも小さくなることを利用するものである。通常、間隔  $S_r$  は観察倍率  $M$  で拡大しても人間の目に認識

等を観察する電子顕微鏡等の電子光学観察装置に関し、特に、異なるモードに切り換えることにより焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 図5に凹凸のある試料Sに入射する電子ビーム（プローブ）Bの開き角  $\alpha$  とプローブ径  $d_p$  と走査線間の距離  $S_r$  を示すが、従来の走査型電子顕微鏡（S.E.M.）、電子プローブマイクロアナライザ（E.P.M.A.）、オージェ電子分光装置（A.E.S.）等においては、試料Sに照射するプローブ電流  $I_p$  を決めたとき、この  $I_p$  の値に対して試料S上でのプローブ径  $d_p$  が最小値になるよう、又は、最小値に近づくように電子光学系を制御していた（例えば、特公昭56-10740号、特開平1-159943号）。この結果、観察倍率  $M$  が低いときには、試料S面を走査する電子プローブBの走査線間の距離  $S_r$  はプローブ径  $d_p$  よりもはるかに大きくなり、試料Sに入射するビームBの開き角  $\alpha$  も大きな値（例えば、 $0.5 \sim 1 \times 10^{-2} \text{ rad}$ ）になっていた。したがって、次式（1.1）で定義される焦点深度  $D_F$  も小さな値になっていた。

## 【0003】

$$\dots (1.1)$$

されないように選ばれるので ( $S_r \cdot M \leq 0.2 \text{ mm}$  )、当然  $d_p \cdot M < 0.2 \text{ mm}$  となり、 $d_p$  が大きいことによるボケも認識されない。したがって、ボケが認識されない範囲で焦点深度を最大にしようとするものである。

【0006】 次に、従来のS.E.M.よりもさらに高分解能を目指して強励磁対物レンズを用いる超高分解能のS.E.M.では、レンズの収差係数を小さくするために、対物レンズのポールピースの間隙を小さくし、この間隙内に試料を入れるような方式をとっている。この場合、倍率を小さくするには、対物レンズの励磁を弱める必要があるので、次のような手法をとっている。

【0007】 (D) 対物レンズの励磁を切って、その前段の集束レンズによってフォーカス調整を行う。

(E) 対物レンズの励磁を倍率に応じて変え、小さい倍率ほど対物レンズの励磁を弱め、フォーカス調整は対物レンズの前段の集束レンズの焦点距離を変えることによって行う。この時、対物レンズ正面のビーム径は、集束レンズの絞り径で制限されている（例えば、特公昭49-40380号）。

【0008】 上記(D)では、前段の集束レンズと試料の距離が離れているため（例えば、150 mm）、前段の集束レンズの正面に  $\phi 300 \mu\text{m}$  の絞りを入れておけば、試料に入射するビームの開き角  $\alpha$  は容易に  $1 \times 10^{-3} \text{ rad}$  が得られる。また、(E)では、特公昭49-36769号に示すように、前段の集束レンズによって

対物レンズの主面上のビーム径が小さくなるように制御すれば、焦点深度を大きくできることがわかる。なお、(D) や (E) は低倍観察が主な目的であり、上記の焦点深度が大きくなるのは 2 次的な効果である。

### 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記 (A) の方法では、まず絞り交換の操作が必要であり、交換の後は、絞りの軸調整が必要になる。また、例えば焦点深度を 5 倍にしようとすれば、少なくとも絞り径は  $1/5$  にしなければならず、製作上の精度の問題や絞りの汚染が絞りを通過するビームに影響を与える問題が発生する。また、プローブ電流を増やすために、第 2 集束レンズ(図 2 の 2)の結像点を絞り(図 2 の 5)に接近させるような装置では、プローブ電流の増大と共に試料に入射するビーム角  $\alpha$  も増大する。

【0010】また、前記 (B) の方法では、作動距離を変えるための操作が必要になる。また、2 次電子検出器の電界が電子プローブに影響を及ぼす空間が長くなるため、観察視野が移動する。低加速電圧になるとこの効果が顕著になる。

【0011】前記 (C) の方法では、理想的な制御が行われる反面、対物レンズの前段の集束レンズの結像点が

$$a = f w / (f - w) < 0$$

となってしまうため、集束レンズ 2 のみではフォーカスが追い切れないことになる。強励磁対物レンズの場合、対物レンズ励磁の変更は観察可能な最低倍の変更につながり、また、対物レンズ主面と試料面までの距離が極端に短いため、作動距離の大きな変化はそのまま対物レンズ焦点距離の変化になり、像回転補正の運動が複雑になる。

【0014】ところで、本出願人は、特願平 1-248794 号において、電子ビームの進行方向に、電子銃、第 1 集束レンズ、第 2 集束レンズ、対物絞り、対物レンズを順に配置し、任意のプローブ電流に対して、対物レンズの焦点距離を変更することなしに、第 1 集束レンズ及び第 2 集束レンズの焦点距離を制御して、大きい焦点深度に変更することが可能な電子顕微鏡等の焦点深度調整装置を提案した。また、この場合、プローブ電流を変えると焦点深度も変化する高分解能の従来モードに切り換える構成して多様な観察ができるようにすることも提案した。

【0015】しかしながら、特願平 1-248794 号においては、高分解能の従来モードから焦点深度の深いモードに切り換えた場合の像回転については何ら考慮をはらっておらず、さらには、対物レンズに対する試料位置が異なるときに従来モードから焦点深度の深いモードに切り換えた場合の像回転についても何ら考慮をはらっていない。

【0016】本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、本出願人の提案に係る特願平

対物レンズとその前段の集束レンズの間にあって移動する場合には、対物レンズの焦点距離が大幅に変化する場合があり、像回転補正を対物レンズ励磁と連動して行う必要がある。

【0012】さらに、前記 (D) の方法では、対物レンズの励磁がゼロから最強励磁まで変化するために、光学系の軸ずれが生じ、視野が  $\sim 50 \mu m$  以上ずれることもある。また、対物レンズの上部ポールピース上方に 2 次電子検出器があるため、対物レンズ励磁をゼロにすることによって 2 次電子の検出効率が下がり、像が暗くなってしまう。また、対物レンズの前段の集束レンズによってフォーカス調整を行う場合に、対物絞りがこの集束レンズの主面位置上にない場合には、フォーカス調整でプローブ電流が変化し、像の明るさが変わるために、調整し難いことがある。

【0013】また、前記 (E) の方法では、作動距離が大きく変化したとき、つまり、図 7 に示すように、対物レンズ 3 主面位置と試料面との間の距離  $w$  が対物レンズ 3 の焦点距離  $f$  よりも大きくなったときには、対物レンズ 3 の主面からビームの進む方向に測定した対物レンズ 3 の前段の第 2 集束レンズ 2 の結像点  $Q$  までの距離  $a$  (図 1 参照) が、

$$\dots (1.2)$$

1-248794 号のようにモード切り換えによって焦点深度を変更することができる電子顕微鏡等において、対物レンズに対する試料位置が広い範囲で異なっても試料位置を変更しないで従来モードから焦点深度の深いモードに切り換える限り、像回転量が何れの試料位置についても殆ど同じになるようにして、モード切り換えの際にこの広い試料位置範囲で一定の像回転補正で何れのモードでも像回転が殆どなしに観察可能であり、かつ、上記した従来技術 (A) ~ (E) の問題点を解決した焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置を提供することである。

### 【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置は、電子ビームの進行方向に、少なくとも、電子銃、第 1 集束レンズ、第 2 集束レンズ、対物絞り、走査コイル、対物レンズが順に配置されてなり、第 1 集束レンズ、第 2 集束レンズ、対物レンズの励磁を変更することにより、同一試料位置に対してフォーカスを変更することなく、第 2 集束レンズによる電子銃の結像位置を対物レンズの電子銃側及び試料側に変更して焦点深度が変わる第 1 モード及び第 2 モードに変換可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置において、第 1 モードにおける第 2 集束レンズによる電子銃の結像位置から対物レンズ主面位置までの距離、及び、第 2 モードにおける対物レンズ主面位置から第 2 集束レンズによる電子銃の結像位置までの距離を、対物レンズ主面位置から最も離れた試料

位置までの距離に比較して十分大きく設定することにより、試料位置を変えたときのモード変換に伴う像回転補正と同じ角度にしてもその変換による像回転を著しく小さくしたことを特徴とするものである。

#### 【0018】

【作用】本発明においては、第1モードにおける第2集束レンズによる電子銃の結像位置から対物レンズ主面位置までの距離、及び、第2モードにおける対物レンズ主面位置から第2集束レンズによる電子銃の結像位置までの距離を、対物レンズ主面位置から最も離れた試料位置までの距離に比較して十分大きく設定したので、何れの試料位置においてもモード変換に伴う像回転はほぼ同じ角度になり、そのため、試料位置を変えたときのモード変換に伴う像回転補正を広い範囲の作動距離について同じ角度にしても、その変換による像回転は極めて小さくなる。

【0019】したがって、広い範囲の中の任意の作動距離WD（例えば、10～30mm）に対して焦点深度が従来の数倍から1桁大きな焦点深度の深いモードに切り換えると、像の明るさや視野ずれが少なく、また、像回転も少なく（例えば、±2～3°）なる。また、モード切り換えに伴い対物レンズの励磁も余り大きく変化させなくともフォーカスが合う。このため、操作性が著しく向上する。

#### 【0020】

【実施例】次に、本発明の焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置の1実施例について、図面を参照にして説明する。図1、図2は電子顕微鏡等において、電子銃から出た電子ビームを試料上に集束照射するまでのビームの経路を示すもので、図1は焦点深度が深いモード（以下、LDモードと言う。）にある場合、図2は電子銃の像を高い縮小率で試料面に結像して高分解能を得る従来モードにある場合を示す。図中、1は第1集束レンズ、2は第2集束レンズ、3は対物レンズ、4は走査コイル、5は対物絞り、6は電子銃、7は第1集束レンズ1、第2集束レンズ2、対物レンズ3、走査コイル4の励磁を制御するための制御部、S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>は異なる2つの試料位置を表し、対物レンズ3の主面位置から各々w<sub>1</sub>、w<sub>2</sub>だけ離れているものとする。以

$$f_{N1} = w_1 \cdot b / (w_1 + b)$$

$$f_{N2} = w_2 \cdot b / (w_2 + b)$$

また、図1における試料位置S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>に対する対物レ

$$f_{L1} = w_1 \cdot a / (a - w_1)$$

$$f_{L2} = w_2 \cdot a / (a - w_2)$$

となるように、制御部7は対物レンズ3を制御する。このとき、対物レンズ3の主面から第2集束レンズ2の結

$$f_{N1} \leq f_{L1}, \quad f_{N1}, f_{L1} \sim w_1$$

$$f_{N2} \leq f_{L2}, \quad f_{N2}, f_{L2} \sim w_2$$

となることが（2.1）～（2.4）から分る。例えば、（2.1）、（2.3）をw<sub>1</sub>/b、w<sub>1</sub>/aにつ

下、ここでは、対物レンズ3の主面位置から試料位置までの距離を結像距離と呼び、対物レンズ3の下面から試料面までの距離を作動距離WDと言うことにする。点Qは、LDモードのときの第2集束レンズ2の仮想的な結像点位置で、対物レンズ3の主面位置からaだけ離れており、任意の照射電流あるいは加速電圧に対して定点になっている（特願平1-248794号参照）。

【0021】図1のLDモードにおいては、電子銃6の像は第1集束レンズ1によってPの位置に一旦結像され、Pから出た電子ビームは第2集束レンズ2によって点Qに向かって集束される。この集束ビームは、対物絞り5によってプローブ電流が制限され、対物レンズ3に入射する。対物絞り5によって制限された集束ビームは、対物レンズ3により試料面S<sub>1</sub>又はS<sub>2</sub>に集束される。対物レンズ3の主面上でのビーム径は小さくなるので、試料面S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>上に電子プローブを集束させたときのビームの光軸に対する角度α<sub>1</sub>、α<sub>2</sub>は小さくなり、図2に示すような従来モードよりも焦点深度を大きくすることができる。試料面S<sub>1</sub>からS<sub>2</sub>への結像の変更は、従来モードからLDモードに切り換えたときに対物レンズ3の励磁を変更することにより行われ、モード切り換え後の対物レンズ3の励磁は固定される。走査コイル4は電子プローブを偏向させ、試料面S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>を走査する。試料面をS<sub>1</sub>又はS<sub>2</sub>に固定して、図2の従来モードから図1のLDモードに切り換えると、制御部7により第1集束レンズ1、第2集束レンズ2、対物レンズ3の励磁が変更され、第1集束レンズ1の結像点はXからPへ移動し、第2集束レンズ2の結像点は、試料面S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>より前側のYから対物レンズ3の後側のQへ移動する（Yと対物レンズ3の主面との間の距離をbとする。）。また、対物レンズ3の励磁は、試料面S<sub>1</sub>又はS<sub>2</sub>にフォーカスが合うように変化する。なお、このようなモード切り換えの際、及び、試料位置の切り換えの際、対物レンズ3の励磁が変わることによる像回転は、走査コイル4に印加する走査信号を公知の手法によって変化させることにより補正される。

【0022】ところで、図2において、試料位置S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>に対する対物レンズ3の焦点距離f<sub>N1</sub>、f<sub>N2</sub>は、各々、

$$\dots \quad (2.1)$$

$$\dots \quad (2.2)$$

レンズ3の焦点距離も同様にf<sub>L1</sub>、f<sub>L2</sub>とおけば、

$$\dots \quad (2.3)$$

$$\dots \quad (2.4)$$

像点Q、Yまで距離a、b（図示の場合、何れも正とする。）がw<sub>1</sub>、w<sub>2</sub>に比較して十分大きければ、

$$\dots \quad (2.5)$$

$$\dots \quad (2.6)$$

いて1次まで展開すれば、

$$f_{N1} = w_1 / \{1 + (w_1 / b)\} = w_1 \{1 - (w_1 / b) + \dots\} \quad \dots \quad (2.7)$$

$$f_{L1} = w_1 / \{1 - (w_1 / a)\} = w_1 \{1 + (w_1 / a) - \dots\} \quad \dots \quad (2.8)$$

となる。したがって、モード切り換えにおける焦点距離 の変化分は、試料面  $S_1$  において、

$$\Delta f_1 = f_{L1} - f_{N1} = w_1 \{(w_1 / a) + (w_1 / b)\} \dots \quad (2.9)$$

同様にして、 $S_2$  においても、

$$\Delta f_2 = f_{L2} - f_{N2} = w_2 \{(w_2 / a) + (w_2 / b)\} \dots \quad (2.10)$$

となる。

【0023】ここで、対象としている結像距離  $w$  の範囲 内で、対物レンズ3のコイルの巻数  $N$ 、励磁電流  $I$ 、加

$$J = NI / (V^*)^{1/2} [AT/V^{1/2}] \quad \dots \quad (2.11)$$

で定義したとき、対物レンズ3の焦点距離  $f$  との間に、

$$J = 40 f^{-0.63} \quad (f \text{ は } mm) \quad \dots \quad (2.12)$$

の関係があるとき（通常の対物レンズは、近似的にこの ように表せる。）、

$$\Delta J = dI / df \times \Delta f = -2.5 \cdot 2 f^{-1.63} \Delta f \quad \dots \quad (2.13)$$

となる。数値例として、

$$a = b = 200 \text{ mm}, w_1 = 20 \text{ mm}, w_2 = 40 \text{ mm} \quad \dots \quad (2.14)$$

を代入すれば、(2.7) と (2.9) から、

$$f_{N1} = 18 \text{ mm}, \Delta f_1 = 4 \text{ mm} \quad \dots \quad (2.15)$$

同様に、(2.8) と (2.10) から、

$$f_{N2} = 32 \text{ mm}, \Delta f_2 = 16 \text{ mm} \quad \dots \quad (2.16)$$

したがって、(2.13) から、結像距離  $w_1$  及び  $w_2$  において、LD F モードでは、従来モードとの間に、各々

$$\Delta J_1 = -2.5 \cdot 2 (1.8)^{-1.63} \times 4 = -0.91 [AT/V^{1/2}] \quad \dots \quad (2.17)$$

$$\Delta J_2 = -2.5 \cdot 2 (3.2)^{-1.63} \times 16 = -1.42 [AT/V^{1/2}] \quad \dots \quad (2.18)$$

だけ  $J$  の差がある。ところで、従来モードでは、(2.12) に (2.15)、(2.16) の結果を代入すると、

$$J_1 = 6.47, J_2 = 4.51 [AT/V^{1/2}] \quad \dots \quad (2.19)$$

となる（図3参照）。 $\Delta J_1 / J_1$  と  $\Delta J_2 / J_2$  を比

較するとやや大きな差になるが、 $\Delta J_1$ 、 $\Delta J_2$  はあま

$$\Delta J_2 - \Delta J_1 = -0.51 [AT/V^{1/2}] \quad \dots \quad (2.20)$$

となる（図4参照）。すなわち、 $|\Delta J_2 - \Delta J_1|$  は、 $|\Delta J_1|$ 、 $|\Delta J_2|$  に比較して十分小さな値になる。

【0024】次に、対物レンズ3の励磁パラメータ  $J$  と像回転角  $\theta$  の関係を考える。よく知られたように、像回転角  $\theta$  は、

$$\theta = (e / 8mV^*)^{1/2} \int_{z_1}^{z_2} B(z) dz \quad \dots \quad (2.21)$$

で与えられる。ここで、 $e$  は電子の電荷、 $m$  は電子の質量、 $z$  は光軸を座標軸としたときの位置、 $B(z)$  は  $z$  方向の軸上磁場分布である。 $z_1$  は像面の位置、 $z_2$  は物面の位置、 $z_1$ 、 $z_2$  が  $|B(z)| > 0$  となる  $z$  の

$$\theta = 0.1863 \times NI / (V^*)^{1/2} = 0.1863 J [rad] \quad \dots \quad (2.22)$$

したがって、従来モードから LD F モードに切り換えたときに、結像距離  $w_1$  及び  $w_2$  において、各々 (2.17)、(2.18) に示すように、 $J$  が  $\Delta J_1$ 、 $\Delta J_2$  だ

範囲の外側にあれば、次式のようになることが知られている（岩波、裏克己著「電子光学」第4章41頁）。

【0025】

け変化するので、この変化に対応して  $\theta$  も (2.22) から、

$$\Delta \theta_1 = 0.1863 \Delta J_1 = 0.17 [rad] \quad \dots \quad (2.23)$$

$$\Delta \theta_2 = 0.1863 \Delta J_2 = 0.26 [rad] \quad \dots \quad (2.24)$$

だけ変化する。つまり、9.7~14.9 [deg] だけ像回転が生じる。

【0026】ここで、 $w_1$  と  $w_2$  の間の適当な結像距離  $w$  ( $w_1 < w < w_2$ ) において、従来モードから LDF

$$(9.7 + 14.9) / 2 = 12.$$

を補正するように制御部7により走査コイル4を制御して、その結像距離  $w$  での像回転補正を行う。そして、 $w_1$  と  $w_2$  の間のそれ以外の全ての位置  $w$  においても、同じ角度だけ像回転補正を行うようにする。このようにすれば、結像距離が  $w_1$  と  $w_2$  の間で  $\pm 10\text{ mm}$  変化しても、従来モードから LDF モードに切り換えたときの像回転は、 $\pm 2.6$  [deg] と極めて小さいものとなる。

【0027】以上、LDF モード及び従来モードにおいて、対物レンズ3主面から集束レンズ2の結像点Q及びYまでの距離  $a$  及び  $b$  と対物レンズ3主面から試料位置  $S_1$  及び  $S_2$  までの結像距離  $w_1$  及び  $w_2$  について、

$$\Delta J_1 / J_1 = 0.14, \Delta J_2 / J_2 = 0.31 \quad \dots (2.26)$$

程度のものなので、 $J$  の変更による軸ずれは、対物レンズ3の励磁を切ってしまう場合よりも少ない ( $\sim 1/3$  以下)。また、これは、2次電子の検出効率が変わることのない励磁の変化ではない。さらに、 $a$  が大きいので、フォーカス微調整を集束レンズ2のみで行っても、プローブ電流の変化は少ない。したがって、前記した従来技術(D)の問題は解決される。

【0029】また、従来技術(E)のように強励磁対物レンズを用いているわけではないので、対物レンズ3の励磁を変化させても観察可能な最低倍率は変化しない。したがって、広い範囲の作動距離に対して LDF モードに切り換ても、対物レンズ3励磁の運動によってフォーカスが合い、しかも、モードの切り換えるによる像回転は、単純な一定の像回転補正で、例えば  $\pm 10\text{ mm}$  の作動距離の変化に対し、上記したように  $\pm 2.6^\circ$  以下にでき、従来技術(E)の問題は解決する。また、像回転補正の単純さでは、従来技術(C)の問題も解決する。

【0030】さらに、従来技術(A)、(B)の問題は、本発明では特願平1-248794号の原理に従って焦点深度  $D_F$  を大きくしているので、本発明においては解決している。

【0031】また、 $a$  を  $w$  に比較して十分大きくしているので、LDF モードにおいて、 $w$  に比較して  $a$  が小さい場合(a)と大きい場合(b)について対物レンズ3の焦点距離  $f$  の符号を示した図8から明らかなように、 $w$  を広い範囲で変えても、対物レンズ3の焦点距離  $f$  が負になることはない。

【0032】本発明の電子顕微鏡においては、上記したように、従来モードでフォーカスを合わせておけば、モードを LDF モードに切り換ても、制御部7による集束レンズ1、2、対物レンズ3の励磁の変更により、フォーカスが自動的に合うが、LDF モードにおいて試料位置が変化したときは、特願平3-2093号に示したような方法により、プローブ電流を変化させないでフォ

モードに切り換えたときに像回転が生じないように、例えば上記  $\Delta \theta_1$  と  $\Delta \theta_2$  の平均値の像回転角

$$3 [\text{deg}] \quad \dots (2.25)$$

(2.14) に数値例を上げて説明してきたが、上記のように、広い範囲で変化する結像距離  $w$  に対して、結像距離を変更しないで焦点深度モードを従来モードから LDF モードに切り換ても、何れの試料位置に対しても同じ一定の像回転補正で実質的に像回転が殆どなしに観察できるためには、上記 a 及び b が上記  $w_2$  (最大結像距離) に比較して十分に大きければよいわけであるが、実際に 3 倍以上にしておけば、この像回転の問題はないことが経験上分かっている (上記数値例の場合は 5 倍)。

【0028】ところで、上記数値例において、対物レンズ3の励磁の変更も、

$$\Delta J_1 / J_1 = 0.14, \Delta J_2 / J_2 = 0.31 \quad \dots (2.26)$$

一カス調整するか、又は、集束レンズ1、2の何れか一方の焦点距離を変えてフォーカス調整を行うようにしてもよい。この場合、対物レンズ3の励磁は固定されているので、像回転は発生しない。

【0033】以上、本発明の焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置を、実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれら実施例に限定されず種々の変形が可能である。

#### 【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の焦点深度切り換え可能な電子顕微鏡等の電子光学観察装置によると、従来モードにおける第2集束レンズの結像位置から対物レンズ主面位置までの距離、及び、焦点深度の深いモードにおける対物レンズ主面位置から第2集束レンズの結像位置までの距離を、対物レンズ主面位置から最も離れた試料位置までの距離に比較して十分大きく設定したので、何れの試料位置においてもモード変換に伴う像回転はほぼ同じ角度になり、そのため、試料位置を変えたときのモード変換に伴う像回転補正を広い範囲の作動距離について同じ角度にしても、その変換による像回転は極めて小さくなる。

【0035】したがって、広い範囲の中の任意の作動距離 (例えば、 $10 \sim 30\text{ mm}$ ) に対して焦点深度が従来の数倍から 1 衝大きな LDF モードに切り換ても、像の明るさや視野ずれが少なく、また、像回転も少なく (例えば、 $\pm 2 \sim 3^\circ$ ) なる。また、モード切り換えに伴い対物レンズの励磁も余り大きく変化させなくともフォーカスが合う。このため、操作性が著しく向上する。

【0036】しかも、従来技術(A)～(E)の焦点深度を深くする方法の問題点は全て解決される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電子光学観察装置の 1 実施例の焦点深度が深いモード (LDF モード) における電子銃から試料までのビームの経路を示す図である。

【図2】本発明の電子光学観察装置の1実施例の従来モードにおける電子銃から試料までのビームの経路を示す図である。

【図3】作動距離wの変化に対応する対物レンズの励磁パラメータJの変化を示す図である。

【図4】作動距離wの変化に対応してモード変換に伴う励磁パラメータの差 $\Delta J$ を示す図である。

【図5】試料上でのプローブ径が最小値になるように又は最小値に近づくように電子光学系を制御する場合の凹凸のある試料に入射する電子ビームの開き角とプローブ径と走査線間の距離を示す図である。

【図6】任意のプローブ電流と観察倍率に対して常に焦点深度を最大にする場合の図5と同様な図である。

【図7】結像距離wと対物レンズの焦点距離fの関係と

そのときのビーム経路を示す図である。

【図8】LDFモードにおいて作動距離に比較して対物レンズから第2集束レンズの結像位置までの距離aが小さい場合と大きい場合の対物レンズの焦点距離fの符号を示す図である。

【符号の説明】

- 1…第1集束レンズ
- 2…第2集束レンズ
- 3…対物レンズ
- 4…走査コイル
- 5…対物絞り
- 6…電子銃
- 7…制御部

【図1】

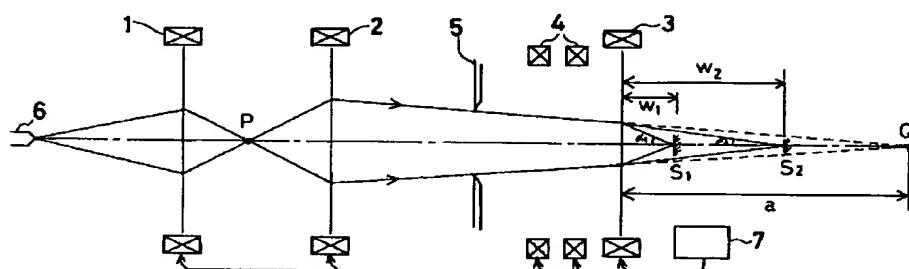


図1

【図3】

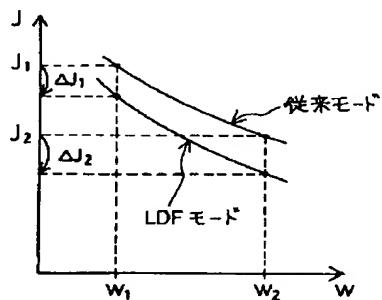


図3

【図2】

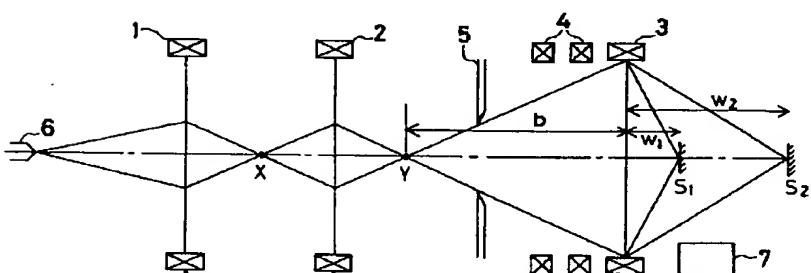


図2

【図4】

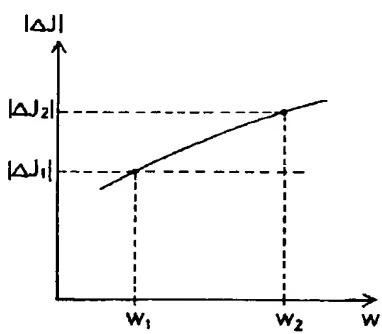


図4

【図7】

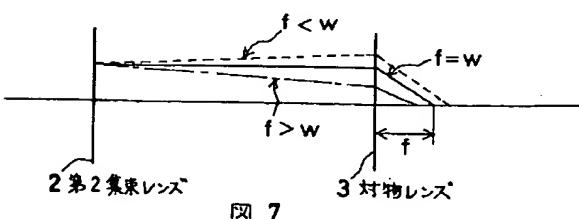
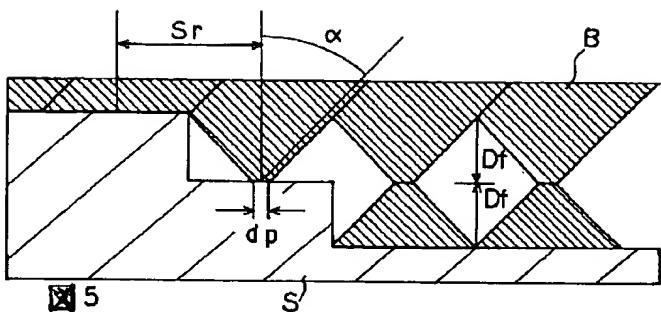
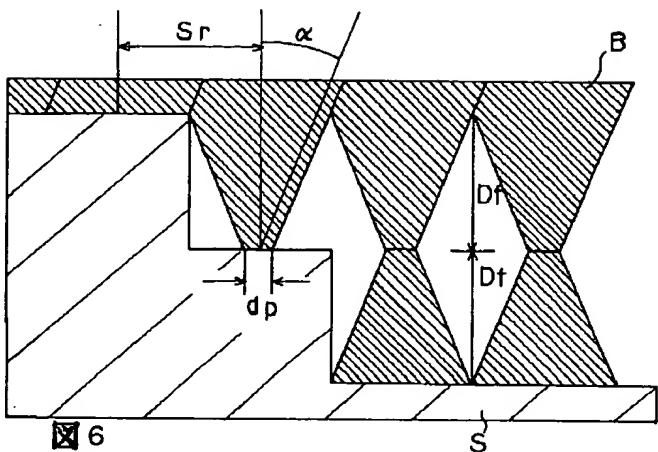


図7

【図5】



【図6】



【図8】

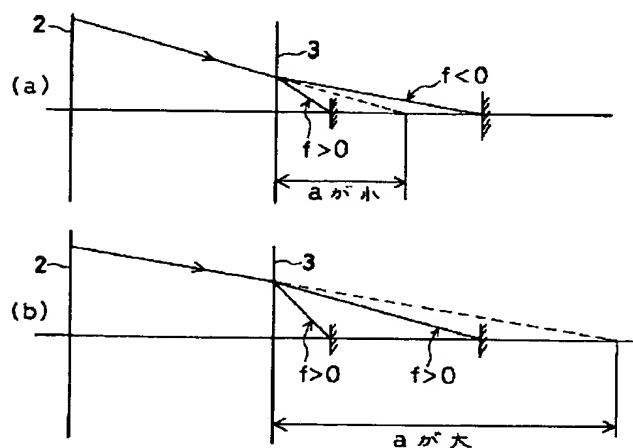


図8